

国内不法投棄廃棄物を用いた堆積廃棄物の現場試験と室内試験でのせん断特性の比較

九州大学工学部 学 ○宮本慎太郎 正 大嶺聖 正 安福規之 産業廃棄物処理事業振興財団 非 山脇 敦

1. はじめに

不法投棄現場や不適切な廃棄物処理場において、急勾配に廃棄物が盛られ崩壊のおそれがある場所が多数存在し、堆積廃棄物の斜面安定性評価方法の確立が急務となっている。しかし、現状では、堆積廃棄物のせん断強度特性を解明するには至っていない。それより、筆者らは中国の上海老港廃棄物処分場において現場一面せん断試験(30cm×30cm)を行うなど、堆積廃棄物のせん断特性に関する研究を行ってきた⁽¹⁾。本報告では、国内不法投棄現場において現場一面せん断試験を行い、せん断特性をみるとともに、その廃棄物を持ち帰り室内で同様の一面せん断試験を行った。これにより、乱さない試料と乱した試料でのせん断特性の違いを把握し、両者の堆積構造の違いからせん断特性を推察する。

2. 国内不法投棄現場の概要と現場一面せん断試験結果

今回の現場試験においても、上海市老港廃棄物処分場と同様の一面せん断試験機を使用した⁽¹⁾。供試体の寸法は、高さ 30cm, 幅 30cm, 高さ 15cm である。

実験を行った国内不法投棄現場は、千葉県にあり、元々は中間処理施設であった場所である。廃棄物の内訳(重量比)を、図 1 に示す。図 1 より、礫や砂のような土砂類が多く含まれている中にプラスチック類が多く含まれていることが分かる(プラスチック類はほとんどが細長いものであった)。現場密度はプラスチック類が多いため $\rho_t = 0.9 \sim 1.0$ (kN/m^2)程度となった。また、含水比は 17.0(%)程度であった。この現場において地表面から約 2.0m(GL-2m) と約 4.0m(GL-4m)を掘削し、GL-2m では上載圧を 3 回変えて、一面せん断試験を行った。試験結果を以下に示す。

図 2 は、せん断応力(τ), 垂直変位(H)—せん断変位(δ) 関係曲線となる。図 2 より、せん断応力は普通砂質土と比べ線形性があり、せん断変位の増加に伴い、せん断応力が上がり続けピークが出ない。また、垂直変位ではせん断応力がピークを示さないに関わらず、せん断変位の増加に伴い、膨張し続けるという結果となった。ここで、普通砂質土とは異なり、上載圧が大きくなる程、膨張傾向が強くなった。次に、GL-2m と GL-4m での試験結果を比較する。同じ上載圧 $\sigma = 10.9$ (KN/m^2)でのせん断応力, 垂直変位は共に GL-4m が高い値を示していることが分かる。両者の現場密度試験結果では GL-4m の方が GL-2m に比べてわずかに密度が小さかった。しかし、GL-4m では堆積廃棄物の自重により GL-2m に比べて供試体にかかっていた応力が大きい。これより、堆積廃棄物のせん断特性に間隙比依存性よりも応力履歴依存性が強く影響するのではないかとと思われる。このような試験結果はこれまでの研究でもみられた⁽¹⁾⁽²⁾。

3. 国内不法投棄現場より持ち帰った堆積廃棄物を用いた室内一面せん断試験

現場試験での GL-2m の試料を用いて、室内試験でも現場試験と同様の一面せん断試験機を用いて試験を行った。供試体は、廃棄物を詰め、自重分の上載圧となる約 20 (kN/m^2)の圧力を 1 分間かけるという過程を 3 回に分けて行い、現場の供試体の密度とほぼ同じになるように作成した。せん断は現場と同様の上載圧をかけて行った。試験結果、せん断応力・垂直変位—せん断変位関係は図 3 となる。図 3 では一例として、上載圧 $\sigma = 16.35$ (kN/m^2)での一つの試験結果を載せる。他の条件でも同様の傾向がみられている。

図 3 より、せん断応力については、現場試験に比べてせん断応力が低くなる事が分かる。また、現場試験のような線形性ではなくなり、なだらかな曲線

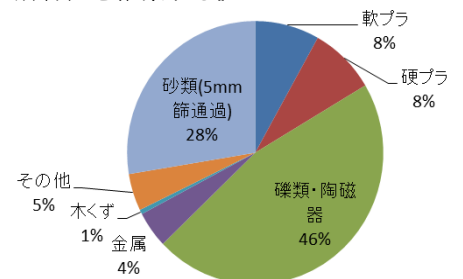


図 1 国内不法投棄現場の廃棄物の内訳

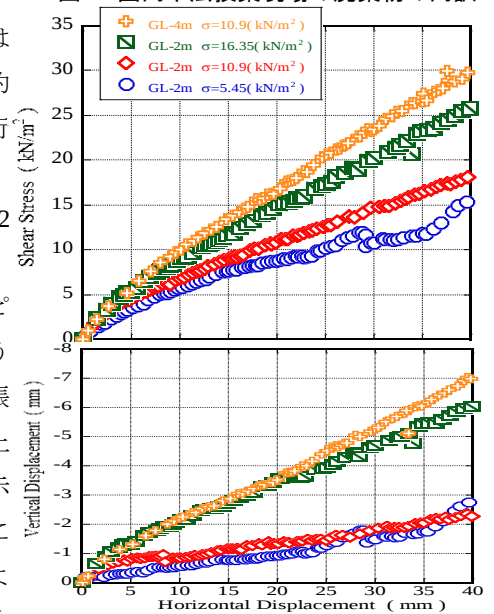


図 2 現場一面せん断試験結果

せん断応力, 垂直変位—せん断変位関係

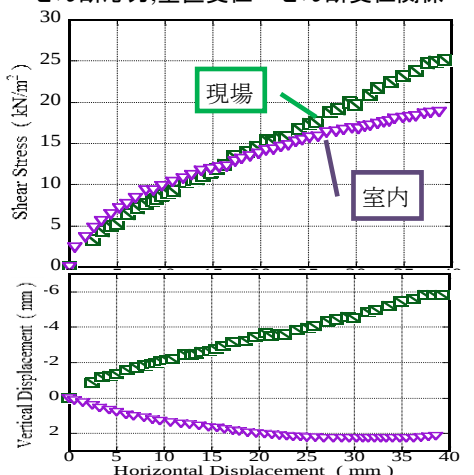


図 3 室内試験結果例 $\sigma = 16.35$ (kN/m^2)

を描くようになる。次に、垂直変位については、現場では膨張を示していたのに対して収縮を示すようになり、収縮になだらかなピークが現れる。このように同様の試料を用いたとしても、現場試験(乱さない試料)と室内試験(乱した試料)では堆積廃棄物のせん断特性が大きく異なることが分かる。

4. 現場・室内試験でのせん断強度—上載圧関係の比較

図2のGL-2mについてせん断変位35mmでのせん断応力をせん断強度とし、せん断強度(τ_f)—上載圧(σ)関係曲線を描いた図が図4となる。また、室内試験でも同様に求めたせん断強度(τ_f)—上載圧(σ)関係曲線が図5となる。

図4,5より、堆積廃棄物においてもせん断強度—上載圧関係において3点すべてがほぼ直線上にのり、粘着力(c)と内部摩擦角(ϕ)を求めることができることが分かる。現場試験結果では、粘着力 $c = 5.8$ (kN/m^2)、内部摩擦角 $\phi = 46.2$ ($^\circ$)となり、室内試験結果では、粘着力 $c = 3.0$ (kN/m^2)、内部摩擦角 $\phi = 43.8$ ($^\circ$)となった。これにより、室内試験では、粘着力は現場試験結果より小さくなるが、内部摩擦角はほとんど変わらないことが分かる。

5. 堆積構造の推察と堆積構造がせん断強度特性へ及ぼす影響

現場試験結果が室内試験結果や普通砂質土と大きく異なる原因を、現場試験と室内試験での供試体内の廃棄物の堆積構造から推察する。特にプラスチック類の堆積構造が違うため、プラスチック類に着目して考える。

現場と室内での供試体中のプラスチック類の入り方は、図6で示すような形となる。図6ではせん断箱と細長いプラスチックのみを描いている。現場では、多くのプラスチック類の主たる方向は水平近くだとしても他にも多くばらばらに入っているものがあり、礫や砂と強く絡み合っているのに対して、室内ではせん断面に対して水平に堆積しているものがほとんどであり、礫や砂との絡み合いも弱いと思われる。このような違いから、現場での堆積廃棄物のせん断特性を考察すると、細長いプラスチック類でせん断面を横断するような形で入っているものによって、せん断変位の増加に伴いプラスチック類が引っ張られ、せん断応力が線形的に上がり続ける。また、このようなプラスチック類が変位する上箱に引っ張られるような形で変形し、固定されている下箱の廃棄物を持ち上げることで垂直変位は膨張を示しているであろうと思われる。

また、このようなプラスチック類の変形モードや、図4,5のせん断強度—上載圧関係より、粘着力はプラスチック類の堆積構造依存性が強く、内部摩擦角は礫類や砂類の堆積構造依存性が強いであろうと思われる。このことから、一面せん断試験では内部摩擦角の評価はできるであろうが、粘着力、特に補強効果の評価は難しいのではないかと考えている。

4. まとめ、今後の展望

以上の試験により、堆積廃棄物のせん断特性について、以下のことが明らかとなった。

- 細長いプラスチック類でせん断面を横断するような形で入っているものによって、せん断応力—せん断変位関係は普通砂質土とは大きく異なり、ピークが現れず、せん断変位の増加に伴いせん断応力が線形的に上がり続ける。
- せん断の際に、せん断面を横断するようなプラスチック類が変位する上箱に引っ張られるような形で変形し、固定されている下箱の廃棄物を持ち上げることで垂直変位は膨張を示しているであろうと思われる。
- 一面せん断試験では内部摩擦角の評価はできるであろうが、粘着力、特に補強効果の評価は難しいと思われる。

以上の結果をうけ、今後はプラスチック類の引っ張り変形をせん断強度特性評価に取り入れるために、堆積廃棄物の大型引っ張り試験を行う予定である。

(参考文献) 1) 宮本慎太郎・大嶺聖・安福規之：原位置一面せん断試験機を用いた堆積廃棄物のせん断強度特性，第9回環境地盤シンポジウム 2) Dimitrios Zekkos・George A・A. Athanasopoulos・Jonathan D.Bray・Athena Grizi・Andreas Theodoratos：Large-scale direct shear testing of municipal solid waste, pp1~12, 2010 [謝辞] 本研究の一部は、平成22年度「循環型社会形成推進科学研究費補助金」(課題番号 K22033)の支援を受けて行われた。

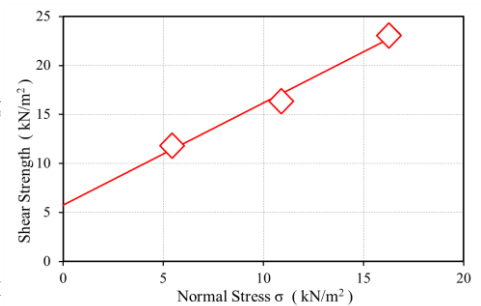


図4 現場一面せん断試験結果

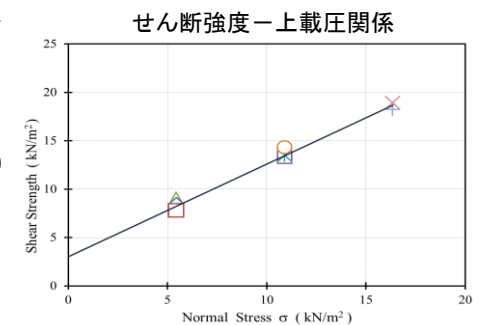


図5 室内一面せん断試験結果



図6-(A) 現場



図6-(B) 室内

図6 現場と室内でのせん断箱内の廃棄物の堆積構造(イメージ図)